Revista FLAMMAE
Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 1 – Artigos Técnico Científicos
Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

COMPARTIMENTAÇÃO HORIZONTAL SELETIVA NA PROMOÇÃO DA SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO EM EDIFICAÇÕES ACADÊMICAS, POR MEIO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Leonardo Jorge Brasil de Freitas Cunha[1]
Edna Moura Pinto[2]

RESUMO

O artigo apresenta os resultados da pesquisa que abordou o desempenho da compartimentação horizontal seletiva na promoção da Segurança Contra Incêndio em Edificações – SCIE. A compartimentação horizontal é uma medida de proteção passiva de grande controle por parte do arquiteto e que pode ser definida logo nas primeiras fases do processo projetual. Por outro lado, a vivência profissional permitiu identificar a recorrente reconfiguração dos ambientes universitários durante a fase de ocupação, objetivando ajustá-los à demanda surgente por espaço. Independentemente do momento em que ocorre o particionamento dos ambientes, seja na fase de projeto ou durante a ocupação da edificação, as normas só consideram o ambiente compartimentado quando são empregados os elementos classificados como corta-fogo. Entretanto, considerando que os minutos iniciais de um incêndio são os mais importantes na evacuação e salvamento dos ocupantes, defende-se a hipótese de que elementos de compartimentação ignorados pelas prescrições normativas podem apresentar desempenho significativo de SCIE, por favorecer a salvaguarda à vida dos ocupantes. Utilizou-se a simulação computacional para testar, a partir de um modelo representativo de um ambiente acadêmico, o desempenho de uma forma de compartimentação seletiva. Os resultados demonstraram que a compartimentação seletiva é capaz de promover acréscimos significativos no tempo de escape.

Palavras chave: Segurança Contra Incêndio em Edificações – SCIE; Compartimentação; Desempenho; Simulação computacional.

[1] Arquiteto e Urbanista da Universidade Rural do Semiárido – UFERSA. Doutor em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN. Email:leonardo_cunha83@yahoo.com.br
[2] Professora do Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo - PPGAU/ UFRN. Doutora em Ciências dos Materiais pela Universidade de São Paulo – USP. Email:emourapinto@gmail.com

Revista FLAMMAE
Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 1 – Artigos Técnico Científicos
Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: **http://www.revistaflammae.com**

THE PERFORMANCE OF HORIZONTAL SELECTIVE PARTITIONING ON UNIVERSITY CLASSROOMS TO PROMOTE FIRE SAFETY OF BUILDINGS: A COMPUTATIONAL SIMULATION STUDY

ABSTRACT

The article presents research results about the performance of the selective horizontal partitioning to promote Fire Safety of Buildings - FSB. The horizontal partitioning is a passive protective resolution, usually defined in the early steps of the design process by the architect. The layout of university rooms is regularly renewed during the building life, according to the space demand. Independently when the environments subdivision occurs, either on design process or during the using, the Brazilian standards rule just assigns the partitioning when fireguard partitions are applied. Because the early minutes of a fire are the most important at building evacuation and occupants rescue, it defends the hypothesis that partitions disregarded by the standards rules are able to a FSB meaningful performance by favoring safeguarding human life. Computer simulation was used to test the performance of selective partitioning. The results indicate that selective partitioning is able to increase the evacuation time.

Keywords: Fire Safety of Buildings - FSB, Partitioning, Performance, Computational simulation.

Artigo recebido em 29/01/16 e Aceito em 01/04/16.

Revista FLAMMAE
Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 1 – Artigos Técnico Científicos
Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

1 INTRODUÇÃO

O incêndio é um dos mais graves incidentes que pode ocorrer em uma edificação, uma vez que além dos danos materiais também está fortemente associado à perda de vidas humanas (ROSA, 2010: p. iii). A Segurança Contra Incêndio em Edificações - SCIE é uma área de estudo relativamente nova no Brasil, sendo ainda mais recente sua abordagem nos cursos de graduação em arquitetura. Dentre os trabalhos desenvolvidos na área de SCIE, uma fração significativa concentra-se em avaliar as alterações nas propriedades físico-químicas dos materiais estruturais submetidos a temperaturas elevadas.

No âmbito da arquitetura, a SCIE pode ser associada ao conjunto de soluções voltadas para a proteção dos ocupantes na concepção do projeto, com destaque para o dimensionamento de saídas de emergência (tipos de escadas, largura das saídas etc), localização das centrais prediais de gás liquefeito de petróleo e localização e dimensionamento dos reservatórios para as reservas técnicas de incêndio. Outra solução arquitetônica de proteção passiva determinante na SCIE é a compartimentação da edificação em 'células' capazes de confinar a ação do incêndio no ambiente de origem é uma medida. A contribuição da compartimentação para a evacuação segura das pessoas e combate ao incêndio se dá, eminentemente, pelo controle das fumaças decorrentes do fogo.

A avaliação típica da compartimentação é realizada verificando-se a existência e as dimensões dos elementos classificados como 'corta-fogo'. A certificação segue uma distinção binária, do tipo: 'existe' ou 'não existe', bastando a ausência de um único elemento para a edificação ser classificada como não compartimentada. Desse modo, pouca atenção é dada ao desempenho dos elementos não previstos nas normas, contrariando a tendência mundial em seguir recomendações com base no desempenho (ONO, 2010: p. 217).

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

A adoção de recomendações com base no desempenho exige a realização de testes que avaliem a eficácia do sistema. Entretanto, o alto custo dos equipamentos e das instalações necessárias para o experimento com modelos em escala real torna esse tipo de pesquisa escassa no mundo e praticamente inexistente no Brasil. A simulação computacional surge com uma alternativa complementar aos ensaios laboratoriais, pois permite a análise de múltiplas alternativas sem os riscos ou os custos inerentes aos testes com edificações reais. Defende-se que ferramentas de simulação computacional, adequadamente ajustadas e com aceitável grau de incerteza, favoreçam tanto a compreensão do comportamento do incêndio, quanto a criação, a revisão e o aperfeiçoamento das normas técnicas de SCIE. Todavia, sabe-se que a aceitação da avaliação de desempenho por meio da simulação computacional não é consensual, pois ainda existem dúvidas em relação ao desempenho dos *softwares* e questionamentos quanto a sua capacidade de reproduzir um incêndio (RUSCHEL, 2011: p. 19). Nesse sentido, os autores do presente trabalho compartilham a opinião de Silva (2014), ao afirmar que: "*antes de se avançar para modelos computacionais, devem-se conhecer os métodos prescritivos e os conceitos sobre o tema*" (SILVA, 2014: p. 107).

1.2 OBJETIVO

Partindo da hipótese de que ambientes parcialmente compartimentados podem apresentar condições mais favoráveis à segurança dos usuários em relação ao pavimento livre, objetivou-se avaliar, por meio da simulação computacional, o desempenho de uma forma seletiva de compartimentação horizontal, capaz de confinar chamas e calor no ambiente de origem e promover a exaustão da fumaça, aplicada sobre um modelo representativo de sala de aula. O foco da pesquisa foram os instantes iniciais de um incêndio, quando a possibilidade de êxito na salvaguarda dos ocupantes é maior. É importante destacar que a pesquisa não propõe a substituição da

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

compartimentação normativa vigente. O objetivo foi estudar um elemento de vedação vertical para exaustão passiva de fumaça e que fosse aplicável na subdivisão de ambientes originalmente compartimentados. Ou seja, a intenção é avaliar o desempenho de um elemento que atue de forma complementar a compartimentação existente.

2 CONTEXTUALIZAÇÃO

A SCIE corresponde ao conjunto de medidas para mitigar o risco de ocorrência do incêndio e, em caso de sinistro, minimizar as consequências decorrentes. A ocorrência de incêndios é baixa se comparada com outros incidentes que a sociedade está cotidianamente suscetível. Mesmo em uma edificação incendiada, o risco de morte é pequeno, pois pressupõe a falha sucessiva ou ausência de vários sistemas prevenção e proteção. Segundo Silva (2004), "*pesquisas europeias mostram que o risco de morte em incêndios é 30 vezes menor do que o risco de morte no sistema de transporte*" (SILVA, 2004: p. 67). Apesar do baixo risco de incidência e de óbitos, a proteção à vida deve ser entendida como prerrogativa essencial na acepção arquitetônica de SCIE. Dessa maneira, a SCIE deve se firmar como uma diretriz independente daquelas contidas no programa de necessidades listado pelo cliente.

Quando bem elaborado, o projeto de arquitetura representa um importante papel na promoção da proteção passiva em uma edificação. (ALVES; CAMPOS e BRAGA, 2008: p. 1). A SCIE em arquitetura deve ser considerada desde as fases iniciais de elaboração do projeto, quando são maiores as chances de adotar soluções eficazes e economicamente viáveis. O arquiteto pode priorizar as soluções de proteção passiva de baixo custo, reduzindo significativamente a dependência de instalação dos sistemas ativos. Segundo Ono (2011: p. 4), as medidas passivas tem papel importante na garantia da segurança contra incêndio das edificações e a efetividade destas

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

medidas sofre grande influência das decisões arquitetônicas, principalmente àquelas que envolvem elementos intrínsecos ao projeto.

O desempenho pode ser entendido como o comportamento adequado dos elementos durante todo o ciclo de vida do produto, atendendo as necessidades dos usuários. O interesse no desempenho dos elementos de SCIE estimula a possibilidade de propor soluções alternativas àquelas determinadas pelas regulamentações e normas vigentes, quando cabível. Entretanto, as soluções devem ser estudadas tanto do ponto de vista técnico como econômico, pois elas podem ter como consequência a elevação de custos de outras medidas (AsBEA, 2012: p. 46).

2.1 COMPARTIMENTAÇÃO

A compartimentação é uma medida de proteção passiva determinante na SCIE e consiste em dividir a edificação em células resistentes à propagação do fogo. O confinamento do incêndio restringe a livre movimentação da fumaça e dos gases no interior da edificação, facilitando o abandono seguro dos ocupantes e contribuindo nas operações de combate ao fogo. Diferentemente do controle da carga de incêndio, a compartimentação é uma medida de grande controle por parte do arquiteto. A ABNT NBR 14432:2001 apresenta uma definição qualitativa de compartimentação, consoante com as regulamentações internacionais, porém sem atribuir dimensões aos elementos. A Instrução Técnica nº 09 - IT 09 (CBPMESP, 2011) supre parcialmente essa lacuna deixada pela Norma Brasileira, trazendo dimensões mínimas para os elementos de compartimentação externa.

2.2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE INCÊNDIO

A simulação computacional de incêndio é uma vertente da Dinâmica Computacional de Fluidos [CFD, na sigla em inglês], caracterizada por um fluxo

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

fortemente induzido pela elevada diferença de temperatura. O surgimento dos programas de CFD na década de 1960 é atribuído à indústria aeroespacial e atualmente são utilizados em diversas áreas, como na indústria automobilística, naval, de manufaturados, astrofísica, meteorologia, oceanografia, etc. A engenharia e arquitetura são campos mais recentes de aplicação dessas ferramentas (TRINDADE, 2006: p. 41).

A simulação computacional dever ser vista como uma ferramenta complementar aos ensaios experimentais, permitindo o estudo parametrizado a partir dos dados obtidos em um evento pregresso. Dentre os *softwares* de simulação de incêndio, um dos mais referenciados na literatura devido à sua precisão é o *Fire Dynamics Simulator* - FDS, desenvolvido no ano 2000 e disponibilizado gratuitamente pelo *National Institute of Standards and Technology* - NIST. O FDS vem sendo utilizado na resolução dos problemas de engenharia de segurança conta incêndio e em pesquisas da dinâmica do fogo e da combustão. O FDS resolve numericamente as equações de Navier-Stokes voltadas para escoamentos de baixa velocidade, termicamente dirigido e com ênfase no transporte de calor e fumaça. A partir das simulações realizadas no FDS é possível conhecer, por exemplo: a formação, o deslocamento, a altura e a temperatura da camada de fumaça; a evolução das chamas e a taxa de oxigênio consumida durante o incêndio.

3 OBJETO DE ESTUDO

A edificação escolhida como objeto de estudo corresponde à sala de aula do projeto denominado ‘Bloco de salas de aula de dois pavimentos’ desenvolvido pela Superintendência de Infraestrutura da Universidade Federal Rural do Semiárido - SIN/ UFERSA. Trata-se de uma edificação com aproximadamente 667,00 m² no pavimento térreo e 725,00 m² no pavimento

Revista FLAMMAE
Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
Seção 1 – Artigos Técnico Científicos
Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

superior, cuja diferença de área corresponde à projeção de 1,00 m do pavimento superior sobre o inferior (Figura 1 e Figura 2).

Figura 1 – Planta Baixa: pavimento térreo – Bloco de salas de aula de dois pavimentos. Fonte: Acervo SIN/UFERSA

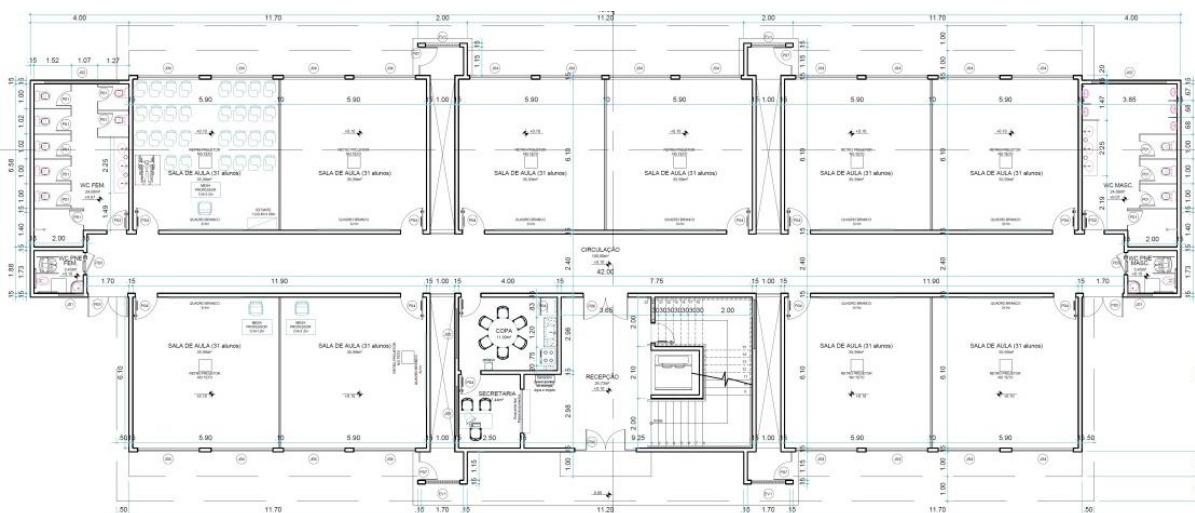
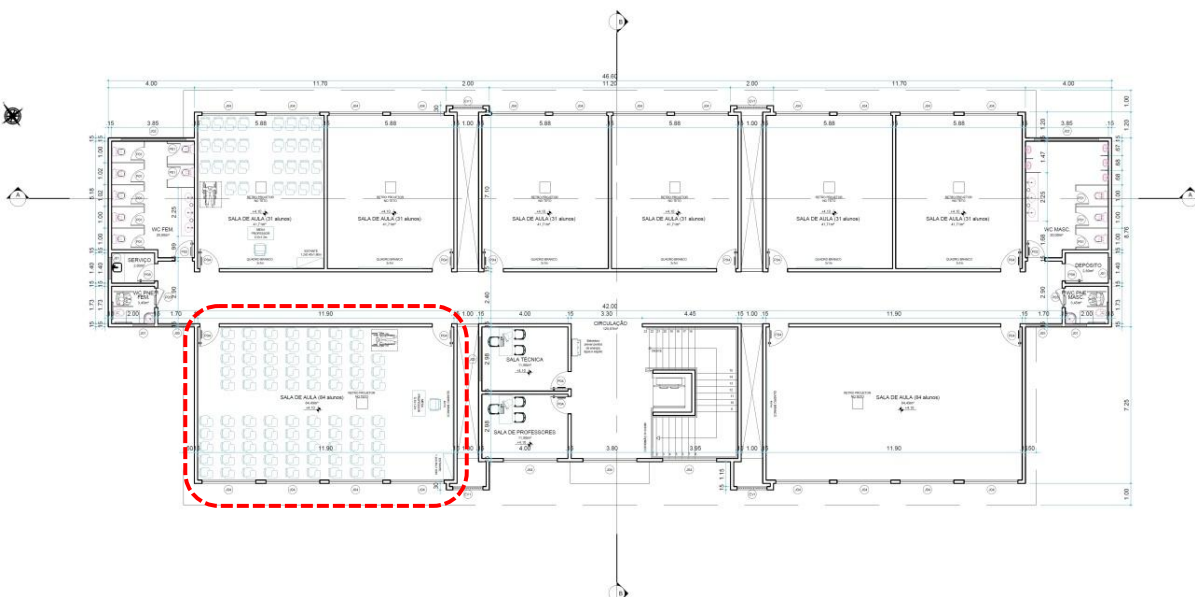



Figura 2 – Planta Baixa: pavimento superior – Bloco de salas de aula de dois pavimentos, com destaque para a sala adotada como modelo. Fonte: Acervo SIN/UFERSA

A edificação é modulada estruturalmente e comporta cinco grandes salas em cada pavimento, com 72,00 m² no pavimento térreo e 82,00 m² no

pavimento superior. O sexto módulo, central em ambos os pavimentos, é destinado a: hall de acesso, circulação vertical e salas de uso múltiplo. Repete-se também nos dois pavimentos: a bateria de banheiros, os fossos de serviço e o corredor longitudinal central, medindo 2,00 m de largura e 38,00 m de comprimento. O hall permite o acesso, em ambos os pavimentos, aos elementos de circulação vertical e horizontal, e às salas de uso múltiplo. No pavimento térreo, o hall contempla o acesso principal e o corredor longitudinal dispõe de saídas dispostas em cada extremidade. A circulação vertical fica a cargo de dois elementos: uma escada em ‘U’ não enclausurada e a plataforma de acessibilidade.

3.1 MODELO

Diferentemente do estudo conduzido por Ruschel (2011), os recursos computacionais disponíveis limitaram a pesquisa à simulação de apenas uma sala. Assim, optou-se por analisar a sala de aula de maior porte, localizada no pavimento superior da edificação. A escolha desse ambiente deve-se à possibilidade de múltiplos leiautes, como pode ser confirmado nas replicações do projeto, construídas nos quatro campi da UFERSA.

De acordo com o projeto arquitetônico, afere-se que o modelo corresponde a um prisma de base retangular, medindo 7,10 x 11,90 x 3,80m [largura x cumprimento x altura]. A sala dispõe de duas portas, dispostas nas extremidades da parede voltada para o corredor central, medido: 0,90 x 2,10m [largura x altura] com bandeirola de vidro fixo com altura de 0,40m. As quatro janelas na parede oposta são voltadas para o meio externo e medem 2,50 x 1,00 x 1,10m [largura x altura x peitoril]. O forro é de placas termoacústicas removíveis, apoiadas sobre armação de alumínio e afixadas a 3,00m do piso. As paredes de contorno são de alvenaria convencional, com tijolos cerâmicos

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

de oito furos, rebocadas e pintadas em ambas às faces. Piso e cobertura são de laje de concreto, tipo volterrana. (Figura 3).

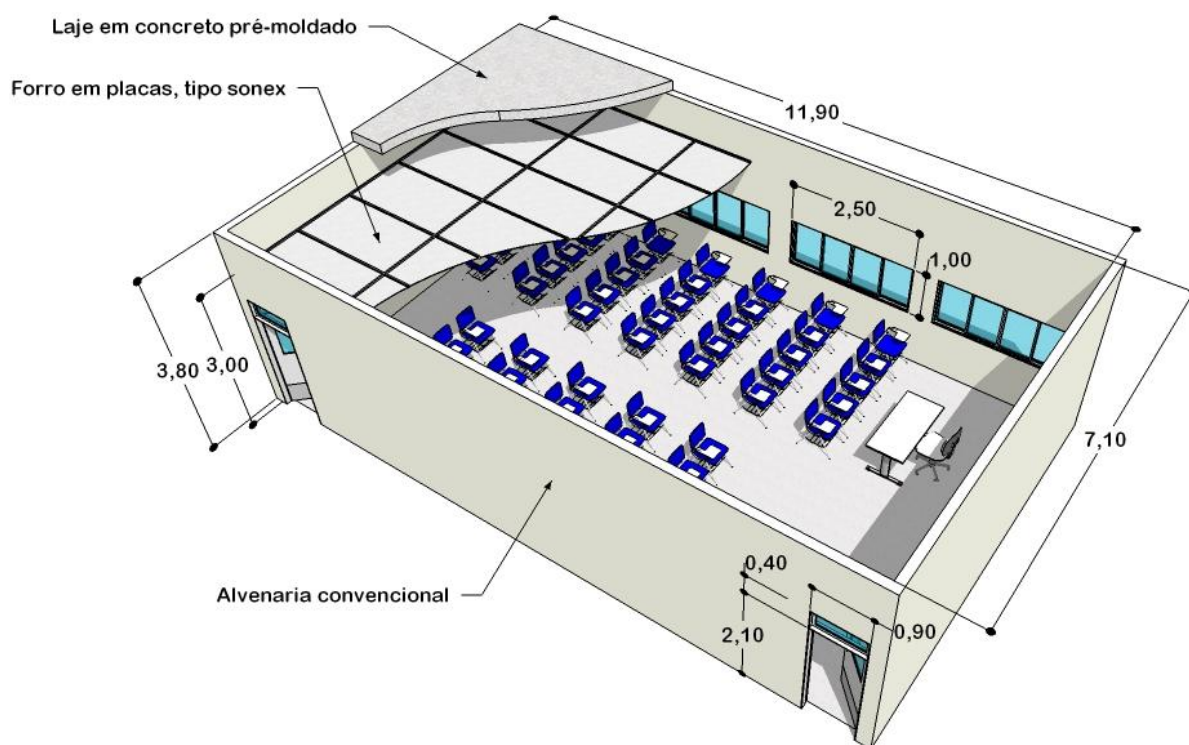



Figura 3 – Representação do caso-base [CBplus]

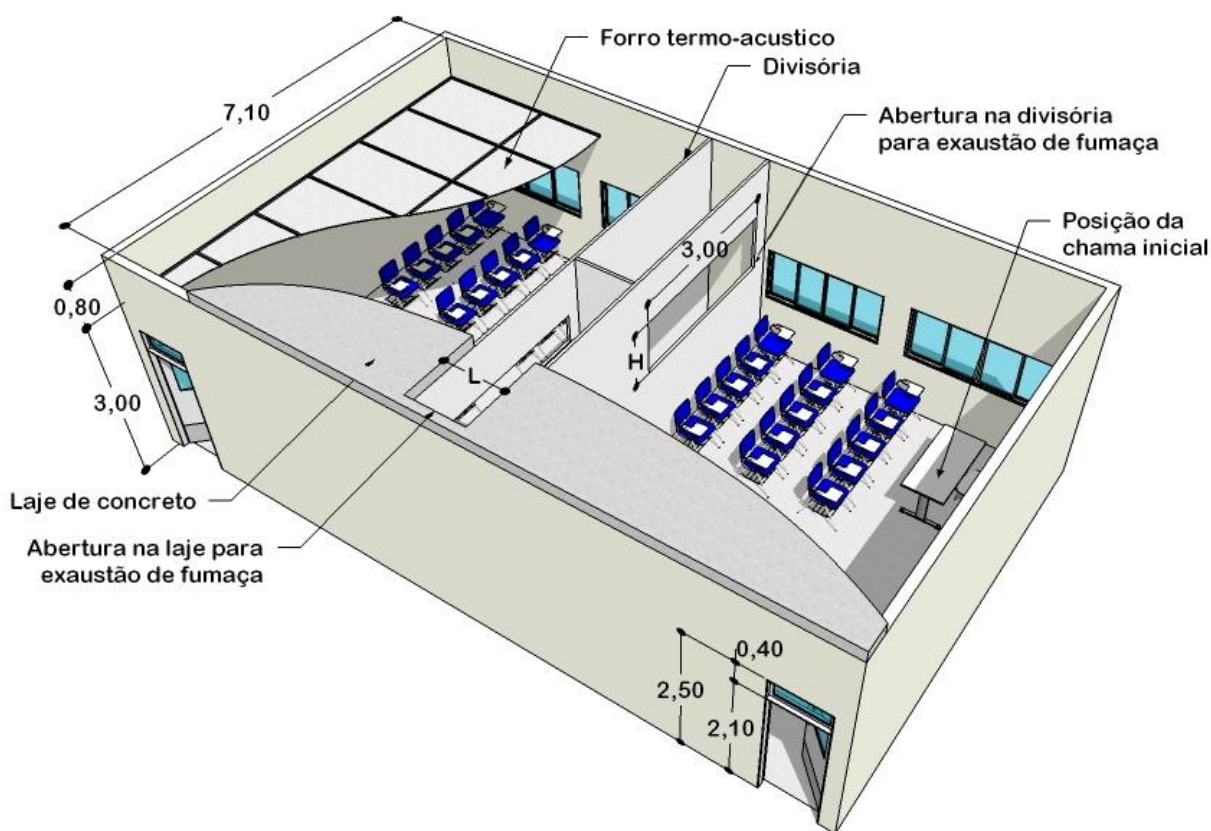
3.2 VARIAÇÕES DO CASO-BASE

A partir do caso-base – 'CBplus' foram considerados dezessete casos hipotéticos de subdivisão do ambiente original. A primeira variação, doravante denominado 'DIVplus' representa a situação mais comum, onde o caso-base é subdividido em duas salas por uma divisória posicionada transversalmente no centro da sala. Esses dois casos servirão de referência comparativa para a avaliação do desempenho da compartimentação horizontal seletiva, cujo objetivo é promover a exaustão da fumaça, porém confinando chamas e calor no ambiente de origem do incêndio.

A compartimentação horizontal seletiva resulta da disposição de duas divisórias paralelas, com aberturas posicionadas próximas ao forro, voltadas

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

alternadamente para as salas oriundas da subdivisão do ambiente original. O vão entre as divisórias paralelas é dividido ao meio, para evitar que a fumaça gerada na sala incendiada invada a sala oposta. Por fim, foram concebidas aberturas nas lajes para exaustão da fumaça (Figura 4).

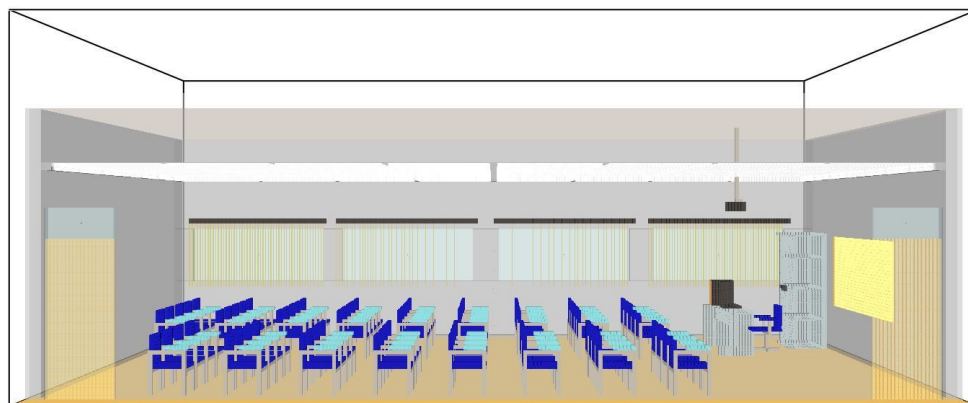
Figura 4: Representação esquemática da compartimentação seletiva aplicada sobre o caso-base

A altura da abertura na divisória (representado pela letra H na Figura 4) e a largura do vão na laje (representado pela letra L na Figura 4) foram dimensionados com base em quatro medidas: 0,25 m; 0,50 m; 0,75 m e 1,00 m. A largura da abertura na divisória e o comprimento do vão na laje e de 3,00 m em todos os casos. Dessa maneira, os dezesseis casos de compartimentação seletiva correspondem às combinações possíveis entre as quatro alturas da abertura na divisória e as quatro larguras do vão na laje. Em todos os casos, foram simuladas duas situações, considerando as esquadrias

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

do ambiente incendiado fechadas ou abertas [essa última identificada pela terminação '_open'].

3.3 DEFINIÇÃO DE MALHA E CONDIÇÕES DE CONTORNO

A simulação de incêndio consiste em um ambiente virtual, denominado domínio, composto pelos elementos participantes do fenômeno físico de interesse. O domínio é subdividido em células justapostas, dentro das quais são solucionadas, repetidas vezes, as equações da mecânica dos fluidos. O conjunto destas células recebe o nome de malha. Observando as dimensões do modelo e a disposição das aberturas, optou-se por um domínio com recuos nos eixos cartesianos 'y' e 'z', de modo que as paredes do domínio não interferissem na exaustão de fumaça. A ausência de aberturas nas paredes laterais tornou dispensável a existência de recuos no eixo 'x' (Figura 5). Seguindo a indicação de Gissi (2010, p. 60), adotou-se uma malha com dimensão linear de 0,10 m nos três eixos cartesianos.

Figura 5: Visualização do caso-base [CBplus] modelado no FDS

A caracterização das condições de contorno envolve as seguintes etapas: (a) a descrição das fases do incêndio: ignição, crescimento,

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

desenvolvimento e extinção; (b) o comportamento das chamas e de seus subprodutos e (c) a iteração das chamas com as variáveis ambientais e com os sistemas de proteção. É a parte mais desafiadora na criação da simulação (McGRATTAN, et. al., 2014: p. 63), dado a quantidade de variáveis envolvidas. É preciso, portanto, selecionar um conjunto reduzido e manipulável de variáveis.

Seguindo a indicação de Alves (2010: p. 206), empregou-se o ‘poliuretano padrão’ do programa como sendo o material que reage com a chama. Observou-se que a determinação da variável denominada ‘taxa de calor liberado por unidade de área’ [HRRPUA, na abreviação em inglês] varia significativamente na literatura. Na bibliografia pesquisada encontrou-se o HRRPUA variando de 250 kW/m² (FAKURY; CALDAS e BRANCO, 2011: p. 99) até 5000 kW/m² (RUSCHEL 2011: p. 74). Já Cunha e Martinelli Jr. (In: SEITO [Coord.] et al., 2008: p. 261) sugerem, por exemplo, uma taxa de liberação de calor entre 60 e 500 kW/m² na definição de projetos de sistema de controle e fumaça. Após uma reflexão acerca dos valores empregados pelos autores citados, optou-se por adotar os valores referentes ao ‘crescimento de incêndio médio’ (Tabela 1), obtidos a partir aplicação da Equação 1, que determina a taxa de liberação de calor na etapa anterior à deflagração, proposta pela norma britânica BS 3974/2001: *Application of fire safety engineering principles to the design of buildings – Code of practice* (Apud. SEITO [Coord.], et al., 2008: p. 45).

$$Q_g = \propto (t - t_i)^2 \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo:

: Taxa de liberação de calor na etapa de crescimento do incêndio, em kW;

: Tempo do incêndio, em segundos;

: Tempo de início da ignição, normalmente tido como zero, em segundo;

: Parâmetro de desenvolvimento do incêndio, em kJ/s³;

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

Tabela 1 – Parâmetro de desenvolvimento do incêndio

Crescimento do incêndio	∝ (kJ/s³)
Lento	0,0029
Médio	0,012
Rápido	0,047
Ultrarrápido	0,188

Fonte: Seito [coord.],et al.,(2008: p. 45).

Ao parâmetro que determina a fração do composto convertida em fumaça durante a combustão, foi atribuído o valor de 5% (ROBBINS; WADE, 2007: p. 13). As simulações foram configuradas para representar os primeiros 300 segundos do incêndio, uma vez que experimentos monitorados indicam que em incêndios não explosivos o *flashover* acontece, normalmente, no intervalo de até cinco minutos após o surgimento do foco inicial (MOUNT PENN FIRE COMPANY, 2015 e FPA, 2012).

A posição da chama inicial dentro do ambiente é, também, uma variável determinante na elaboração do cenário de incêndio. Pannoni e Silva (In: SEITO [Coord.], et al., 2008: p. 418) afirmam que o número dos possíveis cenários de incêndio pode se tornar muito grande, mesmo em uma edificação simples. Contudo, é desnecessário conhecer todos eles, sendo o mais usual identificar, pelo menos, mais de um cenário crítico para a avaliação detalhada. No caso de compartimentos isolados de pequena dimensão, os autores sugerem identificar o cenário que represente claramente o pior caso. Na Tabela 2 resume-se as configurações adotadas nas simulações.

Tabela 2 – Configuração das simulações

Dimensões do domínio [eixos x;y;z] (m)	Células no domínio	Taxa de liberação de calor	Composto gerador de fumaça.	Fração do composto transformada em fumaça	Tempo (s)
12,2 ; 8,4 ; 5,0	512.400	Retirado da norma BS 3974/2001	Poliuretano padrão do FDS.	0,05 (5%)	300

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ciente da provável imprecisão contida nos valores absolutos obtidos nas simulações, as análises foram baseadas, principalmente, na comparação dos resultados entre os casos com a compartimentação seletiva e os casos de referência ‘CBplus’ e ‘DIVplus’.

4.1 ALTURA DA CAMADA LIVRE DE FUMAÇA

A leitura dos dados referentes à altura da camada livre de fumaça foi realizada por meio do comando ‘&DEVC (...) QUANTITY='LAYER HEIGHT'’. A inclusão desse comando no arquivo de entrada de dados faz com que o FDS registre os valores da altura da camada ar não contaminada em uma determinada posição do domínio. Por uma questão de representatividade, adotou-se uma linha vertical, do piso ao forro, posicionada no centro geométrico da sala incendida.

As curvas resultantes da conversão gráfica dos dados tabulados gerados pelo *software* revelaram que os casos providos de compartimentação seletiva apresentam uma camada livre de fumaça decrescente e com tendência à estabilização nos instantes finais da simulação (Figura 6).

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

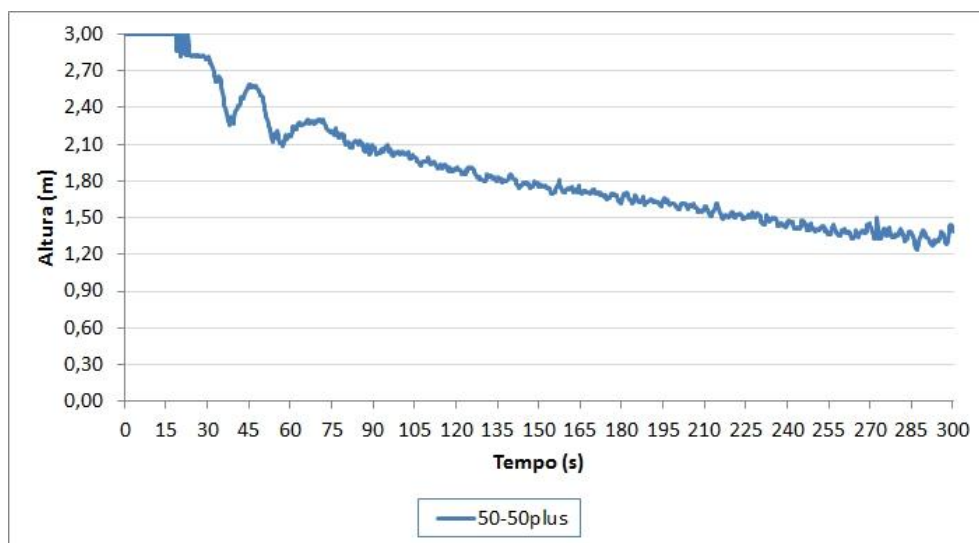
Figura 6 – Exemplo de uma curva típica da altura da camada livre de fumaça

Esse comportamento é bastante coerente com a visualização proporcionada pelo *Smokeview*, ou seja, um decaimento paulatino que tende a se estabilizar em torno da cota de 1,10 m, que equivale ao peitoril da janela (Figura 7 e Figura 8).

Figura 7 – Caso com aberturas de 0,50m na divisória e na laje, aos 60 s de simulação

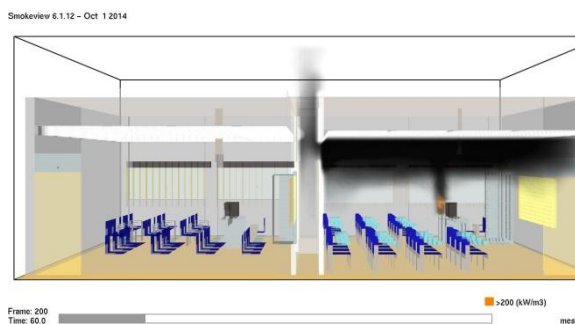
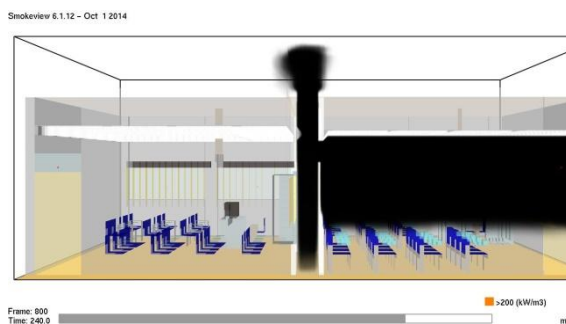



Figura 8 – Caso com aberturas de 0,50m na divisória e na laje, aos 240 s de simulação.

Analisando apenas os resultados dos casos simulados com as janelas fechadas, percebe-se que a compartimentação seletiva é capaz de promover benefícios para os ocupantes durante a evacuação, pois desacelera a redução da camada livre de fumaça, além de estabilizá-la acima de 1,00 m de altura. Percebe-se, contudo, pouca diferença nos resultados obtidos com diferentes combinações de aberturas na divisória e na laje, indicando a inexistência de um

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

coeficiente de proporcionalidade entre os vãos disponíveis para exaustão da fumaça e o acréscimo na altura da camada visível (Figura 9).

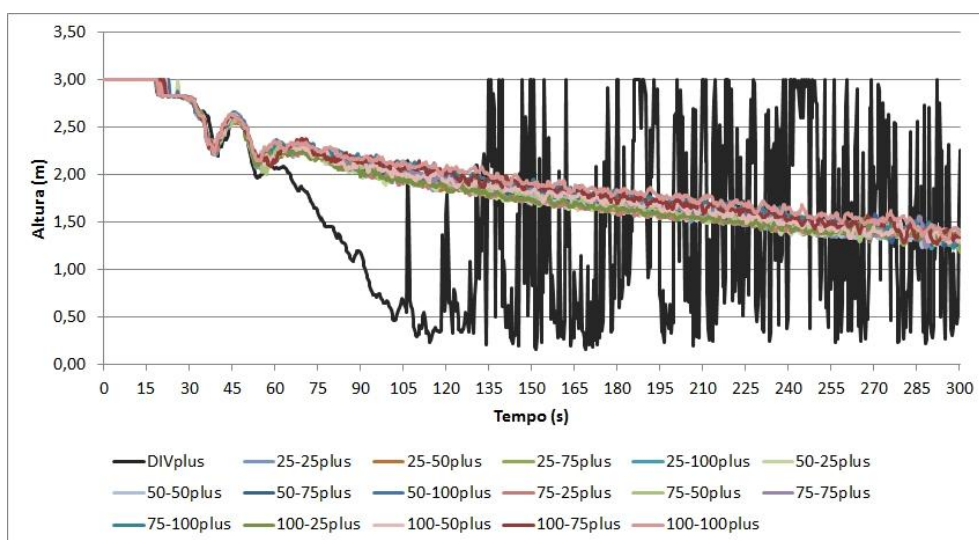
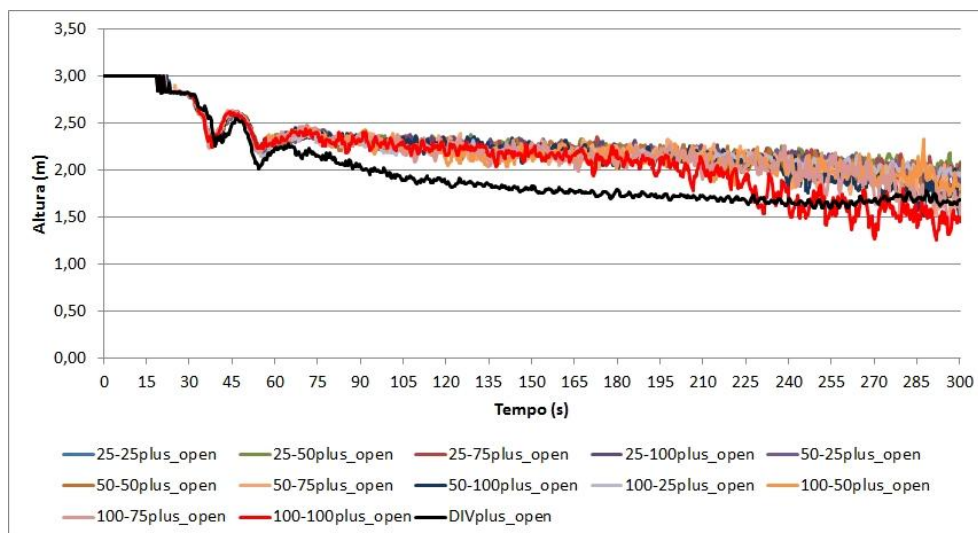
Figura 9 – Sobreposição das curvas representativas da altura da camada livre de fumaça dos casos com as janelas fechadas.

Atentando para os casos simulados com as janelas abertas, a compartimentação seletiva apresentou um leve incremento da altura da camada livre de fumaça em relação ao caso de referência ‘DIVplus_open’ (Figura 10).

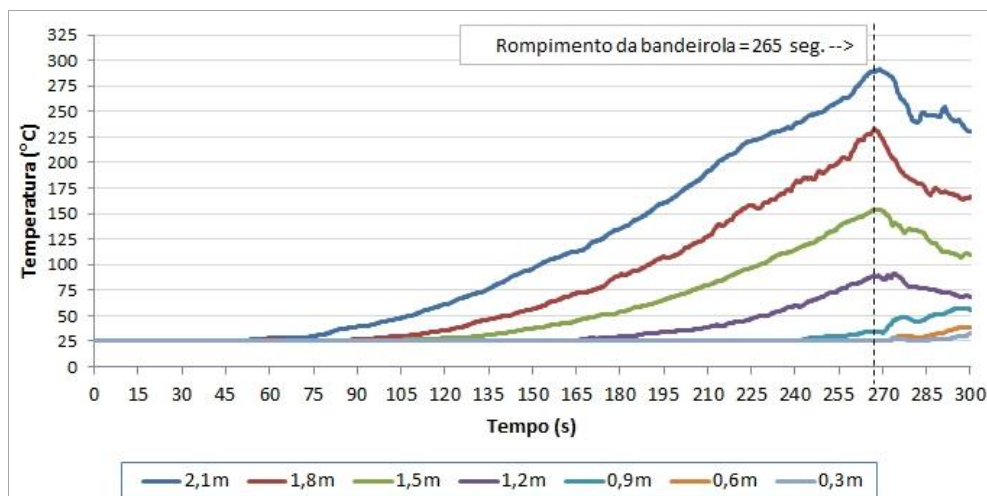
Figura 10 – Sobreposição das curvas representativas da altura da camada livre de fumaça dos casos com as janelas abertas.

Contudo, reconhece-se que se trata de um acréscimo sutil e, novamente, pouco sensível às diferentes combinações de abertura na divisória e na laje. Logo, é possível afirmar que a exaustão promovida pelas janelas foi preponderante nesses casos, sobrepondo os benefícios gerados pela compartimentação seletiva proposta.

4.2 GRADIENTE VERTICAL DE TEMPERATURA

O estudo do gradiente vertical de temperatura permitiu verificar a elevação temporal da temperatura em cotas distintas. Adotou-se 7 pontos de medição, dispostos verticalmente no centro geométrico da sala, com espaçamento de 0,30 m entre si. Esses pontos de medição foram dispostos por meio do comando '&DEVC (...), QUANTITY='THERMOCOUPLE''.

Os casos simulados com as janelas abertas ou providos de compartimentação seletiva apresentaram elevação de temperatura diferenciada em cada cota, perfazendo um gradiente vertical de temperatura significativo (Figura 11).

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

Figura 11 – Curvas típicas do gradiente vertical de temperatura dos casos com abertura.

Dentre os modelos providos de compartimentação seletiva, o gradiente vertical de temperatura se mostrou mais expressivo nos casos simulados com as janelas fechadas, nos quais observou-se os seguintes comportamentos:

a) A elevação de temperatura é mais rápida;

b) Há elevação de temperatura até mesmo nos pontos mais próximos ao piso;

c) A temperatura dos pontos mais próximos ao forro atinge valores mais elevados

Nos casos simulados com as janelas abertas, apenas os pontos mais altos apresentaram elevação de temperatura, ainda sim de modo menos intenso e com temperatura final menor em comparação com os casos simulados com as janelas fechadas (Figura 12).

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: **http://www.revistaflammae.com**

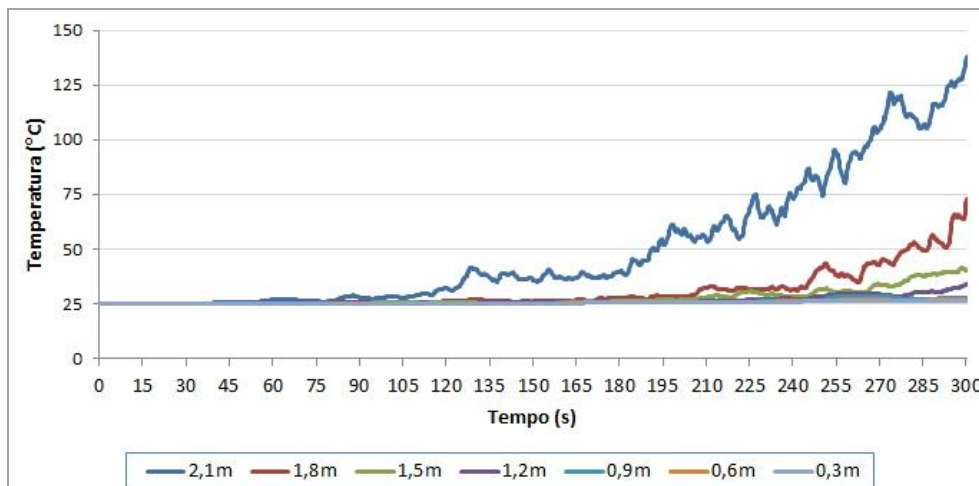
Figura 12 – Exemplo das curvas do gradiente vertical de temperatura dos casos simulados com as janelas abertas.

Objetivando estabelecer uma comparação dos resultados obtidos com os diferentes casos de compartimentação seletiva, optou-se por selecionar apenas os dados referentes à elevação de temperatura do ponto posicionado a 1,80 m do piso, por ser a cota pré-estabelecida imediatamente superior à estatura média do brasileiro. Observando apenas os casos com as janelas abertas, é notável o benefício proporcionado pela compartimentação seletiva, pois enquanto que no caso ‘DIVplus_open’ a temperatura de 50 ºC foi atingida aos 137 segundos, nos demais o mesmo valor foi atingido sempre após 220 segundos de simulação (Figura 13).

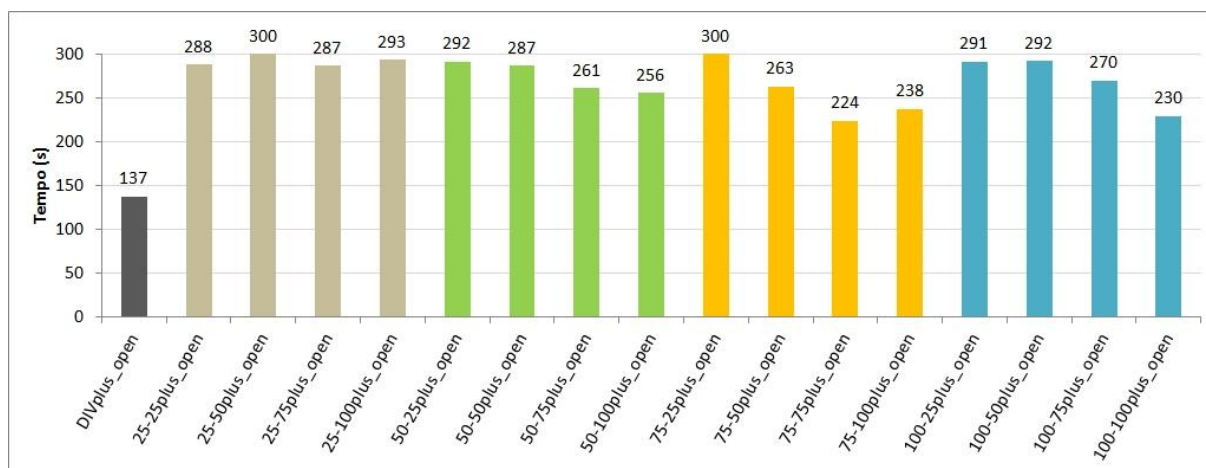
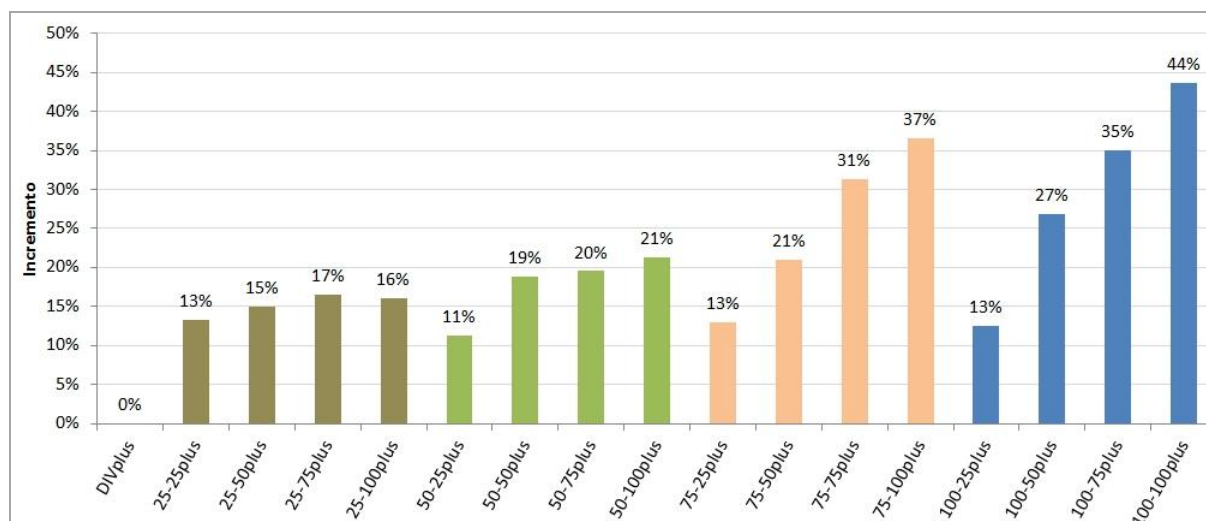
Figura 13 – Tempo de escape dos casos simulados com as janelas abertas, considerando o intervalo compreendido entre o início do incêndio e o instante em que a cota de 1,80 m atinge a temperatura limite para a sobrevivência humana, de 50 ºC

Nos casos simulados com as janelas fechadas a compartimentação seletiva também se mostrou eficaz em atenuar a elevação de temperatura, porém de modo mais sutil. O melhor resultado, observado no caso com as maiores aberturas na divisória e na laje, foi um acréscimo de 44% no tempo de evacuação da sala em relação ao caso de referência ´DIVplus', caracterizado pela divisória simples. Nos demais casos, o incremento concentra-se na faixa dos 10% e 20%, com poucos casos acima de 30% (Figura 14).

Figura 14 – Incremento no tempo de escape nos casos simulados com as janelas fechadas (Temp.<50 ºC; h=1,80 m)

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

Observando os resultados, percebe-se que o incremento no tempo de escape é condicionado pela abertura de menor dimensão, esteja ela disposta na divisória ou na laje. Esse comportamento permite afirmar que não faz sentido empregar aberturas com diferentes dimensões na divisória e na laje, uma vez que a exaustão será restringida por aquela de menor dimensão.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das vantagens da compartimentação seletiva proposta é a capacidade de implementá-la na fase de ocupação, quando as possibilidades de atingir a compartimentação normativa são onerosas ou inexequíveis. Todavia, é notável a consequente perda de área útil em função do vão criado entre as divisórias. Logo, há de se ponderar a implantação da compartimentação seletiva quando há escassez de área diante do uso previsto. Da forma como foi proposta, a compartimentação horizontal seletiva induz a uma quebra da compartimentação vertical, tendo em vista a necessidade de disposição de aberturas na laje para a exaustão da fumaça. Logo, o sistema só se aplicaria a edificações térreas e que comportem baixa carga de incêndio. Em edificações com mais de um pavimento ou com elevada carga de incêndio o sistema proposto torna-se desinteressante em função da primazia da compartimentação vertical perante a horizontal na promoção da SCIE.

Nos resultados obtidos observou-se que a compartimentação seletiva foi capaz de promover maior altura da camada livre de fumaça nos casos simulados com as janelas fechadas, o que tende a tornar a evacuação mais segura. Nos casos simulados com as janelas abertas destacaram-se a redução da temperatura máxima no interior da sala incendiada e o maior intervalo de tempo para se atingir a temperatura-limite para a sobrevivência humana na cota representativa da altura de um individuo adulto. Contudo, reconhece-se que as simulações realizadas são suscetíveis à questionamento de ordem

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: **http://www.revistaflammae.com**

teórica e operacional e que os resultados obtidos são específicos dos modelos e das condições de contorno adotadas. Desse modo, a extrapolação dos resultados para demais casos pode gerar conclusões equivocadas.

Por fim, aspectos de ordem prática, tais como: uma solução de proteção contra a chuva para o vão disposto na laje e a necessidade de um sistema automático para a liberação da abertura na divisória em ambientes climatizados, tornam a implantação da compartimentação seletiva pouco interessante comercialmente, principalmente diante da expressividade dos benefícios proporcionados por ela.

5.1 QUANTO AO *SOFTWARE* UTILIZADO

A utilização de *softwares* de CFD, e especialmente do FDS, na arquitetura ainda esbarra no elevado grau de conhecimento científico exigido para a correta descrição no fenômeno físico envolvido. O FDS mostrou-se inadequado em relação ao tempo de processamento e à amigabilidade operacional, aspectos que são determinantes na utilização voluntária de qualquer *software*, principalmente nas fases iniciais do processo de desenvolvimento de um projeto quando existem várias alternativas formais possíveis.

A entrada de dados por meio de arquivo de texto torna a modelagem trabalhosa e morosa, principalmente quando há a intenção de aperfeiçoar a representação dos objetos. Além disso, qualquer intervenção formal no modelo implica em reiniciar o processo de redigir, linha por linha, as alterações pretendidas. A simulação de um processo pleno de combustão, no qual o fogo consome os objetos presentes no modelo e interage com as variáveis ambientais, exige a rigorosa descrição de todas as propriedades físicas envolvidas. Neste sentido, é possível afirmar que quanto mais a simulação tenta aproximar-se da realidade, mais ela se afasta da prática projetual

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

arquitetônica, uma vez que os conhecimentos exigidos para uma modelagem fidedigna fogem do escopo de conhecimento do arquiteto típico.

A bibliografia pesquisada revelou que a maioria dos estudos com o uso do FDS busca reproduzir incêndios pregressos ou experimentais, como pode ser verificado em Ruschel (2011), Mazzoni (2010) e Rodrigues (2009). Esse tipo de estudo permite a coleta de informações para a elaboração do arquivo de entrada de dados e a sistemática calibração do modelo, comparando-se os resultados da simulação com o evento de referência. No presente trabalho, a etapa de caracterização das condições de contorno evidenciou a dificuldade de simular incêndios hipotéticos, tendo em vista que os parâmetros exigidos para a correta definição da chama e dos subprodutos foram frequentemente omitidos ou abordados de forma espaça na bibliografia pesquisada.

A busca pela fiel reprodução das dimensões do objeto de estudo levam, invariavelmente, a complicações tanto na modelagem quanto na definição de malha. A inserção de objetos delgados exige um maior refinamento de malha, sob pena do *software* não reconhecer o elemento e exibir mensagem de erro ainda na etapa de leitura do arquivo de entrada, impedindo o início da simulação. Por outro lado, adotar a malha mais refinada, sugerida pelo calculador *on-line*, desenvolvido por Overholt (2007), implica em um tempo de processamento extraordinariamente superior e, por vezes, incompatível com computadores pessoais do tipo *desktop*.

Diante desse contexto, conclui-se que a simulação computacional de incêndio ainda está fortemente vinculada à reconstituição de incêndios pregressos ou à pesquisa científica. A elaboração do modelo e de caracterização do incêndio por meio de um arquivo de texto desestimula a utilização do FDS e, consequentemente, afasta-o do processo projetual arquitetônico. Assim, a desejável aproximação entre simulação de incêndio e arquitetura ainda depende de melhoramentos nos aspectos operacionais do *software*.

Artigo publicado no Vol.02 Nº04 - Edição de JUL a DEZ 2016 - ISSN 2359-4829
Versão on-line disponível em: http://www.revistaflammae.com

6 AGRADECIMENTOS

Aos gestores da UFERSA, pela sensibilidade em conceder o afastamento funcional do doutorando, necessário para a conclusão da pesquisa; A SIN/ UFERSA pela disponibilidade dos projetos executivos e memoriais descritivos da edificação que serviu de objeto de estudo da pesquisa.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Alessandra Beatriz Carneiro Gonçalves. **A questão do escape em edifícios altos: A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília – FAU/UNB. Brasília, 2010. 286 p.

ALVES, Alessandra B. C. G.; CAMPOS, André T.; BRAGA, George C. B. **Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura**. In: NUTAU (Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo) 2008 - ESPAÇO SUSTENTÁVEL – INOVAÇÕES EM EDIFÍCIOS E CIDADES. Disponível em: http://www.usp.br/nutau/CD/71%20196.pdf.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR14432: **Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações - Procedimentos**: Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESCRITÓRIOS DE ARQUITETURA – AsBEA. **Guia sustentabilidade na arquitetura: diretrizes de escopo para projetistas e contratantes**. Grupo de Trabalho de Sustentabilidade AsBEA .São Paulo : Prata Design, 2012. ISBN 978-85-63604-03-3.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO - CBPMESP. Instrução Técnica nº 09/2011: **Compartimentação**

---

horizontal e compartimentação vertical. Secretaria de estado dos negócios da Segurança Pública. Corpo de bombeiros. São Paulo, 2011.

FAKURY, Ricardo H.; Rodrigo B. CALDAS e Alípio P. C. BRANCO. **Estudo de caso: Análise da estrutura metálica de readequação do cine Brasil em Belo Horizonte em situação de incêndio**. In: Anais: I Congresso Ibero-latino Americano sobre Segurança contra Incêndio, de 10 à 12 de março de 2011, Natal, RN, Brasil/ ALBRASCI, UFRN – Natal, RN: Impressão Gráfica, 2011. Vol 1, p. 93-102. ISBN 978.989-97210-0-5.

FIRE PROTECTION ASSOCIATION – FPA. **Descripcion de un incendio en una vivienda y su desarrollo.** Vídeo produzido por: Fire Protection Association. Distribuído por: CanalPack112. Salteras/ Espanha: 2012. 1. Internet. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=bewbcSoDkYw> . Acessado em: 2 jun. 2015.

MAZZONI, Filipe. **Simulação computacional de incêndios:** Aplicação no caso do condomínio edifício Cacique em Porto Alegre-RS. Monografia (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Porto Alegre, 2010.

McGRATTAN, Kelvin; KLEIN, Bryan HOSTIKKA, Simo; FLOYD, Jason. **Fire Dynamics Simulator (Version 5):** User's Guide. Maryland - USA, 2007 NIST Special Publication 1019-5.

MOUNT PENN FIRE COMPANY. **Flash Over Simulator**. Vídeo produzido por: Fire Fighters of the Mt Penn Volunteer Fire Co. Mount Penn/ Pensilvânia - EUA: 2013. 1. Internet. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=vfp9bGobW-I> . Acessado em: 2 jun. 2015.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – NIST. **Fire Dynamics Simulator - FDS**, versão 6.1.2, 2014. Disponível em: < https://code.google.com/p/fds-smv/>.

NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY – NIST. **Smokeview**, versão 6.1.12, 2014.

ONO, Rosaria. **O impacto do método de dimensionamento das saídas de emergência sobre o projeto arquitetônico de edifícios altos:** uma análise crítica e proposta de aprimoramento. Tese (Livre Docência) – FAUUSP. São Paulo, 2010. 457 p.

____________. **Aspectos do projeto arquitetônico relevantes para a segurança contra incêndio.** Material didático referente ao Mini-curso apresentado no 1º Congresso Ibero-Latino-Americano em Segurança Contra Incêndio – CILASCI, Natal/RN. 2011.

OVERHOLT, K.. **Fire Dynamics Simulator Mesh Size Calculator**. 2007. Disponível em: < http://www.koverholt.com/fds-mesh-size-calc/>.

ROBBINS, A.P.; WADE, C. A.. **Soot Yield Values for Modelling Purposes:** Residential Occupancies, BRANZ Study Report 185. BRANZ Ltd, Porirua, New Zealand, 2007.

RODRIGUES, E. C. R. **Análise da eficiência do sistema de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre/ RS. 2009.

ROSA, Ari de Freitas Ferreira Neiva. **Segurança contra incêndio em discotecas**. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Portugal. 2010

RUSCHEL, Fernanda. **Avaliação da utilização de ferramentas de simulação computacional para reconstituição de incêndios em edificações de concreto armado: aplicação ao caso Shopping Total em Porto Alegre – RS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre/ RS, 2011.

SEITO, Alexandre Itiu (coord.), et al.. **A segurança contra incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto editora, 2008. 496p. ISBN: 978-85-61295-00-4.

SILVA, Valdir Pignatta e. **Estruturas de aço em situações de incêndio**. São Paulo: Zigurate Editora, 2004. ISBN 85-85570-04-0.

____________. **Segurança contra incêndio em edifícios**: considerações para o projeto de arquitetura. São Paulo: Blucher, 2014. ISBN 978-85-212-0775-7.

TRINDADE, S. C.. **Ventilação natural em edifícios tipo galpão no clima de Natal/RN:** aplicação de simulação computacional. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFRN. Natal, 2006, Brasil.

RESUME

El artículo presenta los resultados de una investigación que aborda el desempeño de particionamento horizontal selectiva para promover la seguridad contra incendios en los edificios - SCIE. Particionamento horizontal es una medida de protección pasiva de un mayor control por el arquitecto y que se puede establecer en las primeras etapas del proceso de diseño. Por otro lado, la experiencia profesional nos permitió identificar la reconfiguración de los ambientes durante la vida útil del edificio, con el objetivo para adaptarse a la demanda para el espacio. Independientemente del momento en que se produce la división de ambientes, ya sea en la fase de diseño o durante la ocupación del edificio, las normas sólo tienen en cuenta el medio ambiente en compartimientos cuando los empleados se clasifican como fuego. Sin embargo, desde los primeros minutos de un incendio son los más importantes en la evacuación y rescate de los ocupantes, la hipótesis de que los elementos que separan ignorados por las prescripciones normativas pueden tener un rendimiento significativo SCIE defiende al favorecer a salvaguardar la vida de los ocupantes . Estábamos acostumbrados a probar la simulación por ordenador, como un modelo representativo de un entorno académico, el rendimiento de una forma de partición selectiva. Los resultados demostraron que la partición selectiva puede promover un aumento significativo en el tiempo de escape.